第 38 卷第 9 期
2018 年 5 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.38,No.9
May,2018

DOI: 10.5846/stxb201703150436
张国,李袭杰,于居龙,吴俨,高博雅,陆明红,钟玲,徐善忠,翟保平.褐飞虱持续暴发成因——以江西泰和县为例.生态学报,2018,38(9):3337-3346.
Zhang G, Li X J, Yu J L, Wu Y, Gao B Y, Lu M H, Zhong L, Xu S Z, Zhai B P.The continuous outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae): a case study in Taihe county, Jiangxi Province, China.Acta Ecologica Sinica,2018,38(9):3337-3346.

褐飞虱持续暴发成因
——以江西泰和县为例

张 国[1,2],李袭杰[2],于居龙[1],吴 俨[2,3],高博雅[2],陆明红[4],钟 玲[5],徐善忠[6],翟保平[2,*]

1 江苏丘陵地区镇江农业科学研究所,句容 212400
2 南京农业大学昆虫学系,南京 210095
3 贵阳学院贵州省山地珍惜动物与经济昆虫重点实验室,贵阳 550005
4 全国农业技术推广服务中心,北京 100125
5 江西省植保植检局,南昌 330096
6 江西省泰和县植保植检站,泰和 343700

摘要:为了明确泰和县近年来晚稻田褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)连年暴发的规律。通过分析泰和县 2008—2013 年褐飞虱的田间调查及灯诱数据,并结合气象条件,研究了泰和县晚稻田褐飞虱暴发的主要影响因素。结果表明:(1)危害早稻田的褐飞虱以 2、3 代为主,其田间种群数量的多少主要受春季迁入虫量的限制,本地早稻收割后的滞留虫源对晚稻种群数量的影响很小。(2)危害晚稻田的褐飞虱以 5、6 代为主,后期迁入虫量、秋季温度以及晚稻田初期外来迁入虫量是影响晚稻田后期暴发的关键因子。(3)不同年份间晚稻田褐飞虱暴发类型不同。2008 和 2009 年属后期迁入虫量与"暖秋"共同影响类型;2010 年是"暖秋"影响类型;2011 和 2012 年是后期迁入虫量影响类型;2013 年是晚稻田早期迁入虫量积累影响类型。后期迁入虫量、秋季温度以及晚稻田早期迁入虫量是导致泰和县晚稻田褐飞虱连年暴发的主要原因。这些结果为褐飞虱暴发规律的阐明及可持续治理提供了理论依据和参考价值。
关键词:褐飞虱;种群动态;持续暴发;秋季温度;后期迁入

The continuous outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae): a case study in Taihe county, Jiangxi Province, China

ZHANG Guo[1,2], LI Xijie[2], YU Julong[1], WU Yan[2,3], GAO Boya[2], LU Minghong[4], ZHONG Ling[5], XU Shanzhong[6], ZHAI Baoping[2,*]

1 *Zhenjiang Institute of Agricultural Science in Hilly Area of Jiangsu Province, Jurong* 212400, *China*
2 *Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095, *China*
3 *Guizhou Province Key Laboratory for Rare Animal and Economic Insect of the Mountainous Region, Guiyang University, Guiyang* 550005, *China*
4 *National Agricultural Techniques Extension and Service Center, the Ministry of Agriculture, Beijing* 100125, *China*
5 *Plant Protection and Quarantine Bureau of Jiangxi Province, Nanchang* 330096, *China*
6 *Plant Protection and Quarantine Station of Taihe County, Taihe* 343700, *China*

Abstract: The objective of this research was to determine the cause of the continuous outbreaks of brown planthopper

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(200903051);国家水稻产业技术体系建设专项(nycytx-01);江苏省农业科技自主创新资金(CX(15)1055)

收稿日期:2017-03-15; **网络出版日期:**2018-01-26

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: bpzhai@ njau.edu.cn

(BPH) in Taihe County. We analyzed field and light trap data on BPHs in Taihe County from 2008 to 2013, and combined them with data on meteorological conditions to identify the main reasons for the outbreaks in late-rice fields. The BPHs damaging early-rice fields were the 2nd and 3rd generations whose population sizes were mainly limited by early immigration. After the early-rice harvest, resident populations contributed less to the insect population sizes in late-rice fields. The BPHs in late-rice fields were the 5th and 6th generations. Late period immigration, autumn temperature, and initial insect population size in late-rice fields played an essential role in late-rice field outbreaks. The outbreak types varied over time. In 2008 and 2009, the outbreaks were due to the late period immigration and the "warm autumn", while the "warm autumn" caused the 2010 outbreak. In 2011 and 2012, the late period immigration led to the outbreak, however the initial insect population size was the main diver of the 2013 outbreak. The late period immigration, the autumn temperature, and the initial insect population size were the factors that caused the continuous outbreaks of BPH in Taihe County. These results provide a theoretical basis anda reference for long-term predictions and sustainable insect management strategies.

Key Words: *Nilaparvata lugens*; population dynamics; continuous outbreaks; autumn temperature; late immigration

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)是我国水稻上的一种重要迁飞性害虫,其种群规模的大小对我国水稻生产有着至关重要的影响。每年 4 月末,褐飞虱随着西南气流由中南半岛进入我国,随后逐步向北扩展,最终到达淮河流域;8 月末起,由于季风的转变,褐飞虱由我国江淮地区开始向南迁飞,并最终回到海南岛及中南半岛等安全越冬区域[1]。

20 世纪 70 年代初,由于褐飞虱在全国范围内大暴发,开始受到学者们的广泛关注,之后几十年间,随着我国植保工作者的不懈研究和努力,已初步摸清了褐飞虱在我国的发生规律,其发生规模似乎也在一定程度上得到了抑制[1-2]。直至 2005 年,褐飞虱再次以超大的规模席卷了我国大部分稻区,之后两年,褐飞虱的攻击力度一次超过一次,使我国水稻的安全生产蒙受了巨大损失[3-5]。

泰和县位于江西省中部,吉泰盆地腹地,是江西省主要水稻种植区之一,也是我国褐飞虱南北往返迁飞的必经之路。全县水稻面积约 8 万 hm^2,其早稻种植面积为 3.88 万 hm^2,晚稻种植面积为 3.89 万 hm^2,中稻面积为 0.21 万 hm^2(2013 年数据,http://www.jxszbzjj.gov.cn)。该县褐飞虱通常以危害晚稻为主,常年发生面积 2.2 万—2.4 万 hm^2[6]。自 2005—2007 年褐飞虱在江西省大发生以来,泰和县晚稻田褐飞虱种群数量一直居高不下,即使是全国轻发生的 2011 及 2013 等年份,其晚稻田种群密度也维持在较高水平。是何因素造成了泰和县晚稻田褐飞虱的连年暴发?其晚稻田后期的高密度种群又是怎样形成的?目前为止仍不清楚。因此,本文通过利用泰和县 2008—2013 年的灯诱及田间调查数据,并结合气象数据,探讨褐飞虱连续 6a 的暴发规律及成因,以期为褐飞虱可持续治理和灾变预警提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 虫情资料

泰和县田间及候灯诱数据由全国农业技术推广服务中心的农作物重大病虫害数字化监测预警系统下载(https://www.ccpmis.org.cn),泰和县日灯诱数据及其他地区候灯诱数据由江西省植保植检局提供。

1.2 气象资料

风场资料由欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF, http://www.ecmwf.int)下载的分辨率为 0.5°×0.5°,时间间隔为 6 小时 1 次的格点数据。地面温度资料由中国气象数据网(http://data.cma.cn)下载的中国地面气候资料日值数据集。

1.3 褐飞虱代次划分

根据农作物重大病虫害测报技术规范的标准,将 5 月 20 日之前的迁入种群划分为第 1 代,5 月 21 日至 6 月20 日发生的褐飞虱划分为第 2 代,6 月 21 日至 7 月 20 日发生的褐飞虱划分为第 3 代,依此类推,人为划

定每月发生 1 个代次。

1.4 轨迹分析

使用 NOAA 的 HYSPLIT 平台计算褐飞虱的迁飞轨迹[7]。轨迹回推参数设置如下:(1)褐飞虱是顺风迁移的[8-10];(2)褐飞虱在日出前或日落后 1 小时内起飞[8,11-12];(3)飞行高度距地面 500、800、1000m 和 1200m[9,13];(4)迁飞过程为 1 次性飞行,回推轨迹以降落地时间为起点,回推最大时长不超过 30h[1];(5)回推轨迹落点时间必须符合褐飞虱的起飞节律[14],落点地区无极端气象条件,如降雨、大风等[15],落点地区必须要有合适生育期(乳熟期以后)的水稻及长翅型成虫[16-18]。

1.5 数据分析

使用 Excel 以及 SPSS 20 统计软件进行数据处理和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 泰和县褐飞虱田间及灯诱种群动态

2008—2013 年,通过对泰和县褐飞虱田间及灯诱虫量调查发现,褐飞虱在泰和县 1 年发生 5—6 代,早、晚稻各有 1 个田间高峰期,早稻高峰期为 6 月末至 7 月初,晚稻高峰期为 9 月末至 10 月初,晚稻田间虫量要远多于早稻虫量。就迁入时期而言,早稻迁入高峰期主要在 6 月上、中旬,此时早稻正处于抽穗期。7 月上旬开始,泰和县早稻逐渐黄熟收割,大量褐飞虱开始外迁,在灯下形成外迁峰。9 月中、下旬,灯下再次出现高峰,随着江淮稻区中稻的大面积收割,大量褐飞虱南迁,该时期泰和县晚稻正处于抽穗扬花期,灯诱峰为迁入高峰(图 1)。

泰和县早稻田褐飞虱虫量要远低于晚稻虫量,长翅型成虫始见期多在 4 月末至 5 月初,主迁入期为 6 月上、中旬,迁入虫量较少(表 1)。这段时期越南北方迁出的褐飞虱主要降落在华南地区,仅有少量成虫波及进入江西省,形成始见虫源;6 月上、中旬,我国华南沿海地区水稻陆续灌浆、乳熟,食料条件恶化,褐飞虱开始外迁,形成江西省早稻的主迁入峰。早稻收割后至晚稻移栽前,有一定间隔期,随着农田翻耕,晚稻移栽,早稻滞留虫源数量大大压低,导致晚稻田初始虫量较低,后随着种群繁殖,中稻收割后大量成虫的迁入,晚稻田褐飞虱虫量迅速增长,形成了危害晚稻的主要虫源(图 1)。

表 1　2008—2013 年泰和县 5—10 月各旬褐飞虱灯诱虫量与各代峰期百丛虫量

Table 1　Accumulated number of light trap catches in every ten days from May to October and number of BPH per 100 hills during peak period in each generation, Taihe, 2008—2013

年份 Year	灯诱虫量 Light-trap catches of BPH														各代高峰期百丛虫量 Number of BPH per 100 hills during peak period in each generation				
	5C	6A	6B	6C	7A	7B	7C	8A	8B	8C	9A	9B	9C	10A	G2	G3	G4	G5	G6
2008	1	16	83	455	215	3859	721	87	51	49	270	404	4526	29064	568	1248	514	2862	28193
2009	2	13	1	0	5	54	82	20	55	59	42	7834	6931	1371	236	501	1445	19848	16423
2010	129	30	2048	138	10	34	373	262	50	34	140	448	224	137	914	2348	323	3045	22900
2011	0	0	1	0	11	43	16	92	12	115	2954	586	2168	3240	90	611	225	7069	11126
2012	72	45	104	27	8	306	95	7	8	7	336	867	18672	824	769	1125	687	15183	18838
2013	3	0	6	11	0	28	24	8	17	93	81	153	404	52	274	258	874	15132	3395

5 月 21 日前,田间及灯诱虫量均十分稀少,因此未做统计。5C:5 月下旬,Last ten days in May;6A:6 月上旬,First ten days in June;6B:6 月中旬,Middle ten days in June; 依此类推; G2: 第二代, The second generation; G3: 第三代, The third generation; 依此类推; BPH: 褐飞虱 brown planthopper

2.2 褐飞虱灯下虫量与田间各代峰期数量的关系

分析 2008—2013 年 5—10 月各旬褐飞虱累计灯诱虫量与各代高峰期田间百丛虫量的相关性发现,田间第二代高峰期(6 月中旬)虫量与 5 月下旬($r=0.867^*$, $P=0.025$)、6 月上旬($r=0.862^*$, $P=0.027$)的灯诱虫

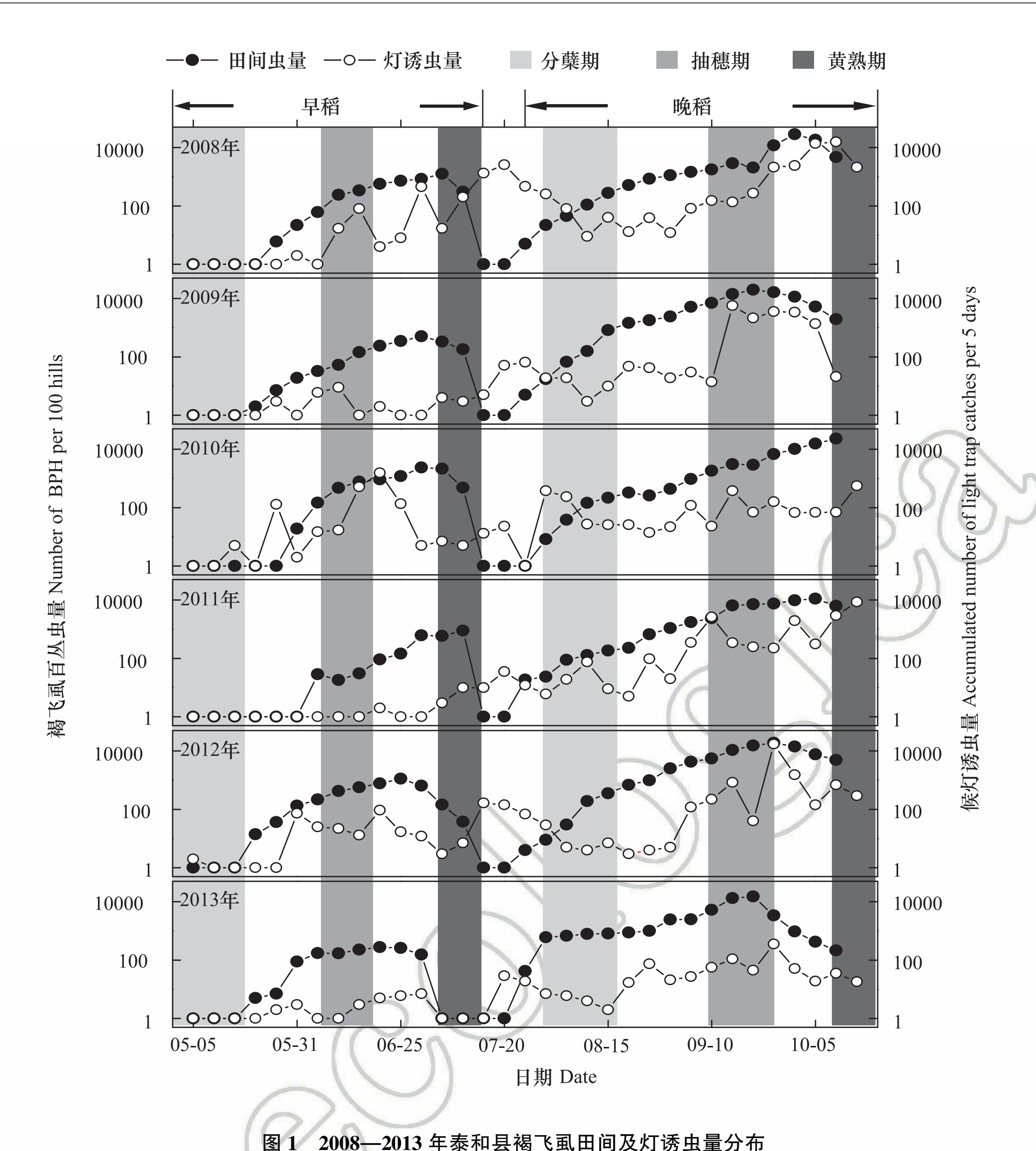


图 1　2008—2013 年泰和县褐飞虱田间及灯诱虫量分布

Fig.1　The number of BPH in paddys and light-trap catches in Taihe from 2008 to 2013

为避免 0 值,所有数值均加 1,阴影部分表示水稻的不同生育期

量显著相关,第三代高峰期(6 月末至 7 月初)虫量与 5 月下旬($r = 0.865^*$, $P = 0.026$)、6 月中旬($r = 0.889^*$, $P = 0.018$)灯诱虫量显著相关,而发生在晚稻田上的第 4、5、6 代高峰期虫量则与各旬灯诱虫量无明显相关性。第 2、3 代(早稻)田间虫量的多少往往是由春季迁入的成虫数量所决定的,而第 4、5、6 代(晚稻)田间虫量的多少除受迁入虫量的影响外,更多是由于本地种群繁殖所造成的。总体而言,2008、2010、2012 年早稻 2、3 代虫量要多于其他年份,但晚稻田虫量则与其他年份相差不多,这表明早稻虫量的多寡并不能决定晚稻田间种群的数量,晚稻田间虫量的增长是由其他因素造成的(表 1)。

2.3　晚稻田褐飞虱种群的形成

2.3.1　晚稻田各代次褐飞虱种群动态

泰和县晚稻田褐飞虱 1 年发生 3 代,主害代一般为第 5 代或第 6 代,田间百丛虫量最高值均在万头以上。2009 年与 2013 年,田间虫量最高值出现在第 5 代(9 月中旬),随后数量开始下降。其余年份,随时间推移,褐飞虱种群数量逐渐增加,9 月末至 10 月初(第 6 代),田间虫量达到最高值(表 2)。2008 年,田间虫量最高值为 28193 头,是近 7 年之最,然而其 5、6 代高峰间隔仅有半个月,田间虫量由第 5 代峰值的 2862 头飙升至 28193 头,且虫态均为低龄若虫。褐飞虱很难在如此短的时间内完成一代,且田间长翅型百丛虫量由九月中旬的 100 头迅速增长至月末的 3900 头,再结合此时期的灯诱虫量,可以发现第 6 代田间种群的形成是 9 月

中、下旬的大量迁入所致(图 1,表 2)。

表 2　泰和县晚稻田褐飞虱不同代次高峰日田间种群动态

Table 2　The population density of BPH of paddies during peak period in each generation in Taihe from 2008 to 2013

年份 Year	代次 Generation	高峰日期 Peak date (Month-day)	百丛虫量 The counts of BPH per 100 hills	田间主要虫态* The insect stage*	百丛长翅虫量 The counts of Macropterous BPH per 100 hills
2008	4	8—20	514	Odn	49
	5	9—15	2862	Lin	112
	6	9—30	28193	Lin	3903
2009	4	8—20	1445	Odn	29
	5	9—20	19848	Lin	214
	6	9—25	16423	Lin	250
2010	4	8—20	323	Lin	33
	5	9—15	3045	Lin	140
	6	10—10	22900	Lin	265
2011	4	8—20	225	Lin	18
	5	9—15	7069	Lin	208
	6	10—5	11126	Lin	645
2012	4	8—20	687	Lin	12
	5	9—15	15183	Lin	76
	6	9—25	18838	Lin	299
2013	4	8—20	874	Odn	25
	5	9—20	15132	Odn	210
	6	9—25	3395	Adu	160

* Odn: 高龄若虫,The older nymphs;Lin: 低龄若虫,The low instar nymphs;Adu: 成虫,The adults

2.3.2　2008 年晚稻田后期迁入分析

2008 年 9 月第 4 候至第 5 候,江西省中、南部多个地区监测到了褐飞虱的灯诱高峰(图 2),此时江西省中、南部晚稻多处于抽穗至灌浆期。就高空风场而言,9 月第 4 候,江西中南部以偏北气流为主,至第 5 候,风向转变为偏东气流(图 3),该时期的风向十分有利于褐飞虱从赣北、皖南、浙南及闽西等地区随风迁飞进入江西中南部,为晚稻提供大量虫源。2008 年 8 月份,泰和县日灯诱虫量均在 50 头以下,直至 9 月 20 日前,灯下虫量一直维持在较低水平,9 月 21 日,灯下开始出现迁入峰,9 月 26 日诱虫量达到最高,为 2241 头,之后虫量迅速下降,峰期结束(图 4)。对该峰期进行回推轨迹分析发现,这段时期的褐飞虱主要来自于江西北部、东部、浙江南部以及福建西部等地区(图 5)。

2.3.3　不同年份晚稻田褐飞虱种群暴发成因

2008—2013 年,泰和县晚稻田褐飞虱百丛最高虫量均在万头以上,即使是虫量最少的 2011 年,其百丛虫量最高值仍为 11125 头(图 1,表 1)。就后期(9 月中、下旬)迁入虫量而言,2008、2009、2011 以及 2012 年迁入虫量较多,而 2010 与 2013 年后期迁入虫量较少(表 1),这说明晚稻田褐飞虱的暴发与否除受后期迁入虫量的影响外,还受其他因素控制。分析泰和县 1981 年至 2013 年秋季地表温度,其中 2008—2010 年 9 月份地面温度均较常年高 1—2℃,是典型的"暖秋"季节,有利于褐飞虱的生长发育和繁殖,其中 2010 年 9 月份地表温度较常年高 1.2℃(图 6),这恰好解释了 2010 年后期迁入量较少却仍能够暴发的原因。2013 年 9 月份,泰和县地面温度与常年持平,其后期迁入虫量也较少,但晚稻田褐飞虱种群依然暴发。从田间虫量可以得知,该年 7 月下旬,晚稻田褐飞虱种群数量较其他年份高出许多,7 月 31 日,在苗期百丛虫量就达到了近 600 头(其他年份均不足 30 头/百丛),如此多的晚稻早期积累虫源,造成了该年晚稻田后期褐飞虱的暴发(图 1)。

总体而言,造成泰和县晚稻褐飞虱暴发的主要因素为后期迁入、"暖秋"以及晚稻早期虫量积累 3 种,其中 2008 年与 2009 年是后期迁入与"暖秋"共同影响,2010 年是"暖秋"为主要原因,2011 年与 2012 年是后期迁入为主要原因,2013 年是晚稻早期虫量积累为主要原因。

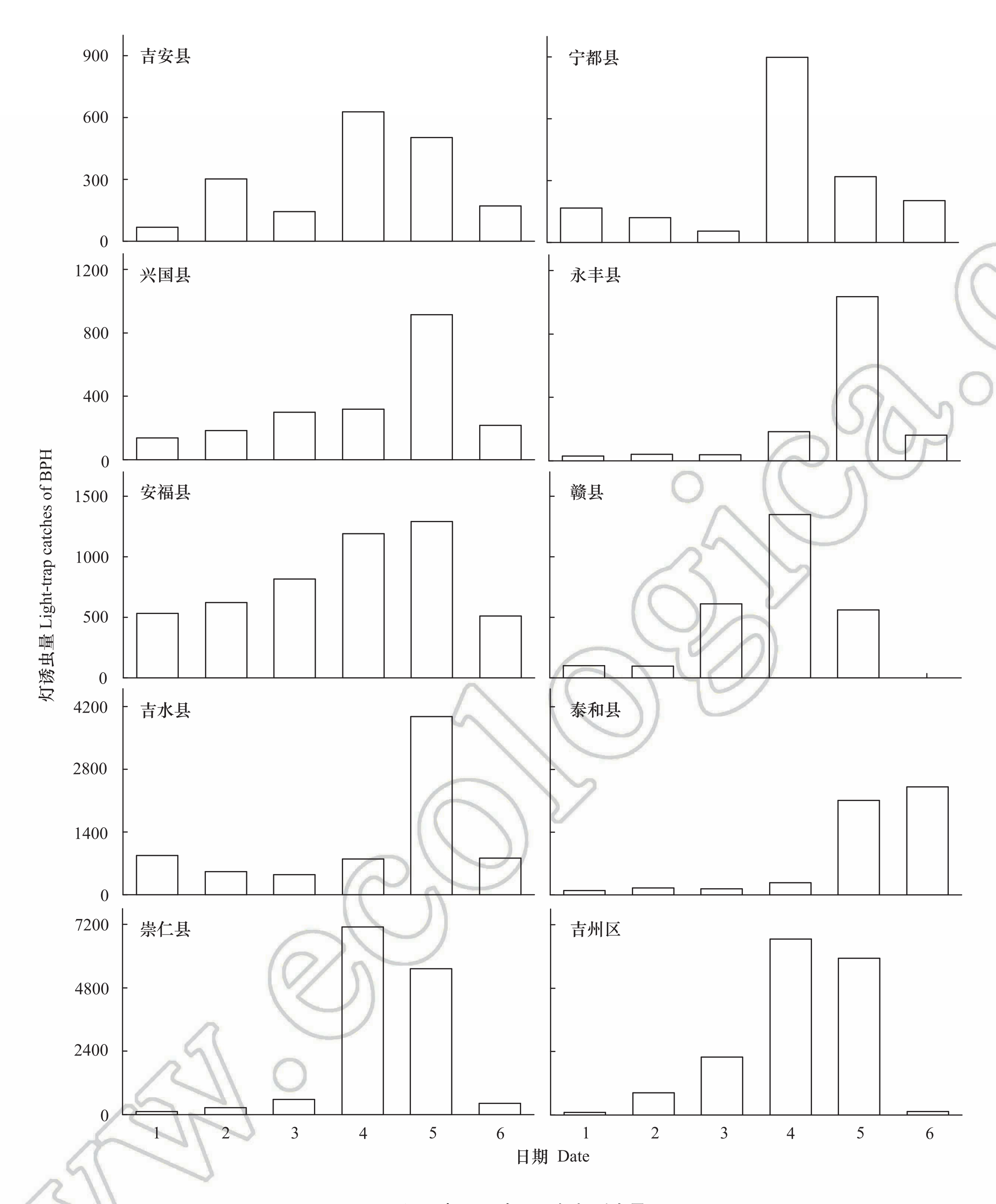


图 2 江西省 2008 年 9 月候灯诱虫量

Fig.2 Accumulated light trap catches of BPH per five days in Jiangxi Province

横坐标代表 9 月第 1 到第 6 个不同候数;1:9 月 1 日至 9 月 5 日,1st September to 5th September;2:9 月 6 日至 9 月 10 日,6th September to 10th September;依此类推

3 结论与讨论

3.1 晚稻田褐飞虱种群的暴发因素

对于许多迁飞性昆虫来说,其暴发与否往往与迁入种群的数量有着密切的关系。Hu 等[5]通过分析长三角地区 2003—2010 年褐飞虱暴发次数和是否有迁入的关系,发现在有迁入的情况下,褐飞虱大发生的频率占暴发总次数的 64%。Zhang 等[19]分析了江西省近 10a 间早稻稻飞虱暴发的主要原因,发现早稻白背飞虱的暴

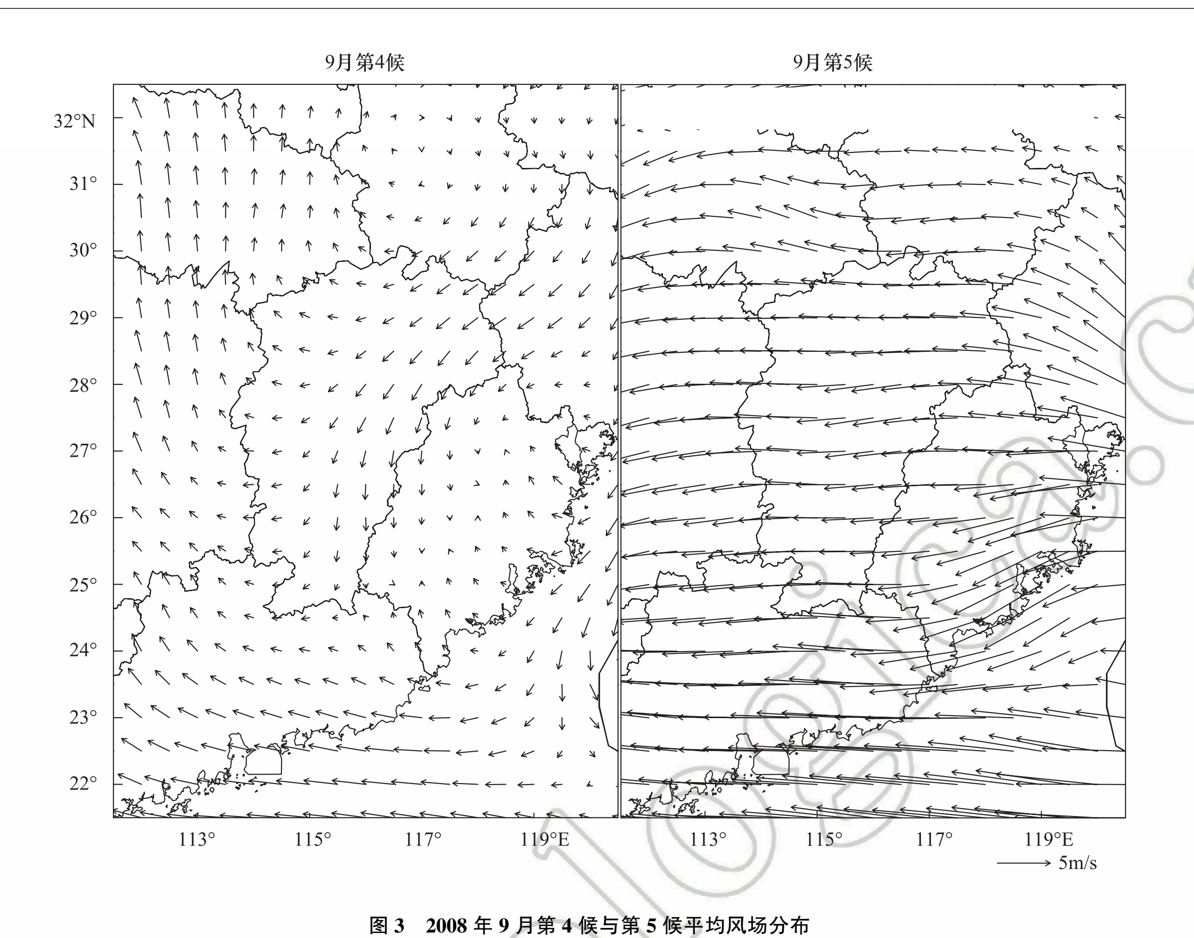


图 3　2008 年 9 月第 4 候与第 5 候平均风场分布

Fig.3　The average wind field at 900 hPa from 16th to 20th September and from 21st to 25th in September in 2008

发往往是由于大量迁入引起的。1991 年,我国北方稻区由于大气环流的作用,从南方稻区(江岭区)带来了大量虫源,导致该年份褐飞虱在北方大发生[20]。1980 年,黑龙江省 1 代粘虫大发生,其羽化成虫后,大量向南迁飞进入吉林省,导致该年份吉林省 2 代粘虫大发生[21]。2008 年,由蒙古高原及俄罗斯东西伯利亚地区迁出的大量草地螟成虫进入我国东北,导致二代草地螟幼虫在我国东北地区大发生[22]。与之类似,在泰和县连续暴发的 6a 间中,有 4 年的暴发是与后期大量迁入有关的,那么是不是说褐飞虱的暴发一定伴随着大量的迁入呢? 2010 年,泰和县褐飞虱灯诱虫量较少,但其晚稻田虫量仍旧达到百丛万头以上。这说明除了迁入虫量外,还有其他因素会影响稻飞虱的暴发。

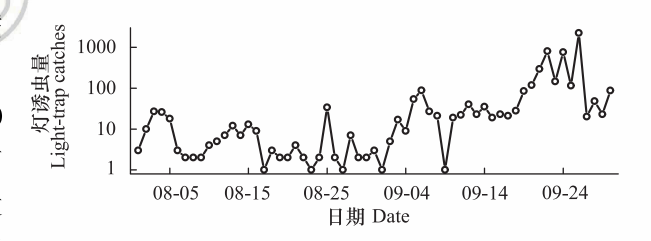


图 4　2008 年泰和县褐飞虱灯诱虫量

Fig.4　Daily light trap catches of BPH in Taihe in 2008

褐飞虱是一种喜温喜湿性害虫,许多分析认为褐飞虱大发生的条件是夏季温度适宜(凉夏),秋季温度偏高(暖秋)[23-24]。程家安等[25]对浙江嘉兴 1976—1988 年褐飞虱种群与 8、9 月份当地气温的关系进行了研究,发现 9 月份气温对褐飞虱种群增长的影响大余 8 月份的气温,9 月中旬是影响褐飞虱种群增长的关键时期。祝树德等[26]通过比较杂交田小气候与百叶箱内温度的差异,发现田间小气候最高温度要比气温最高温度低 2—5℃,田间小气候最低温度一般要比气温最低温度高 1—2℃。因此夏季高温可能对褐飞虱种群的增长产生一定的抑制作用,但并不是决定性作用,反而秋季温暖才是导致褐飞虱大暴发的主要因素。在本研究中,2010 年则是最明显的例证,2010 年 8 月份,泰和县温度较常年高 1.68℃,9 月份较常年高 1.21℃,是典型的“炎夏暖秋”类型,在没有大量后期迁入的情况下,其晚稻田百丛虫量仍然达到了 22900 头。可见,9 月份温度

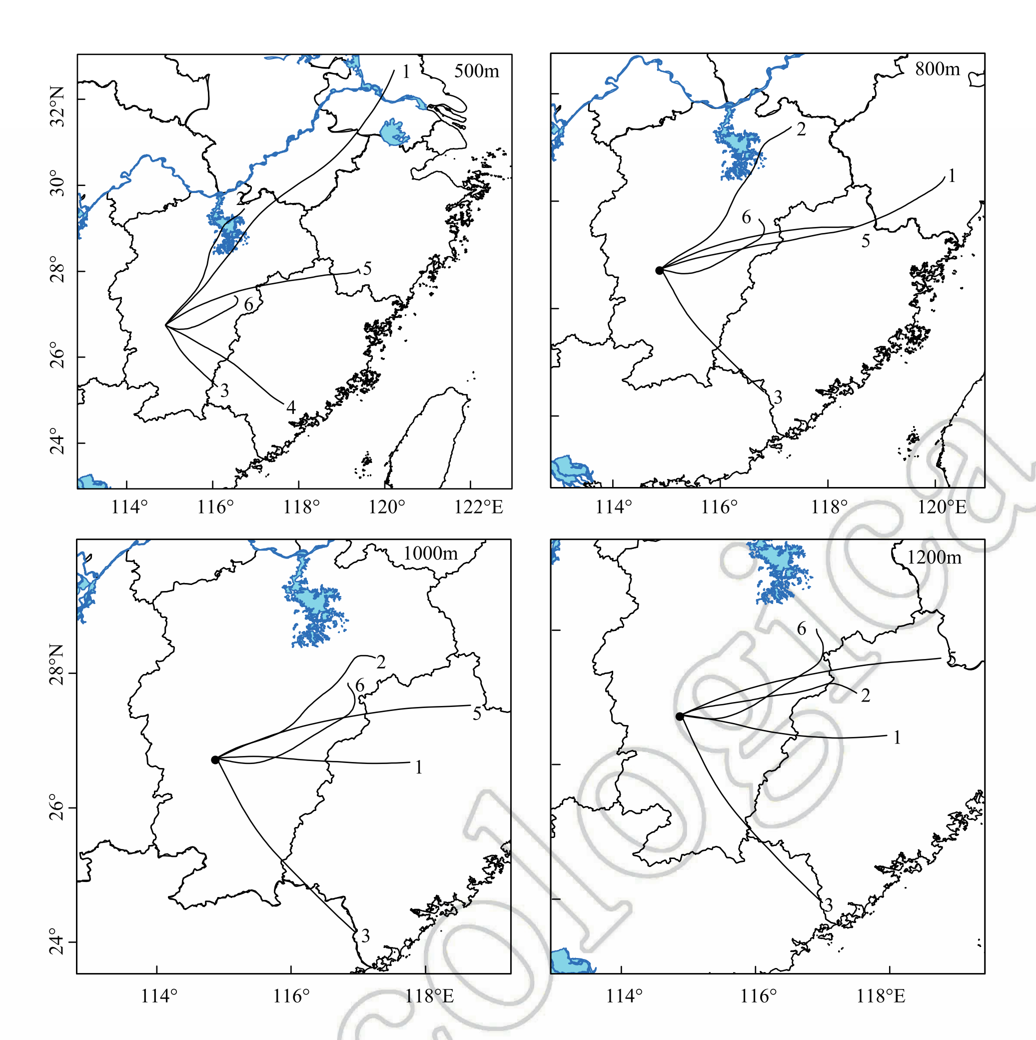


图 5 2008 年 9 月 21 日至 9 月 26 日泰和县回推轨迹分布

Fig.5 Distribution of backward trajectories in Taihe from 21st to 26th September, 2008

1:9 月 26 日回推轨迹, backward trajectory in 26th September; 2:9 月 25 日回推轨迹, backward trajectory in 25th September; 3:9 月 24 日回推轨迹, backward trajectory in 24th September; 4:9 月 23 日回推轨迹, backward trajectory in 23rd September; 5:9 月 22 日回推轨迹, backward trajectory in 22nd September; 6:9 月 21 日回推轨迹, backward trajectory in 21st September

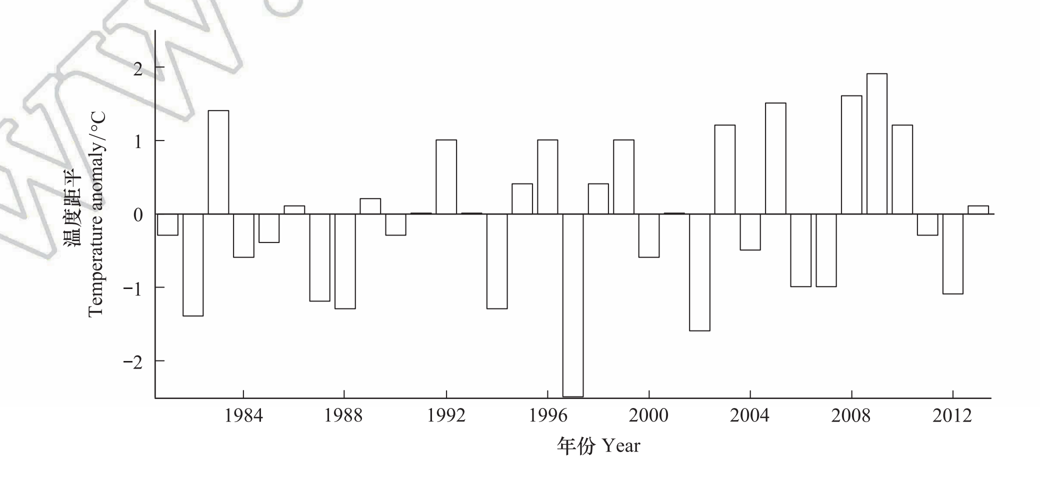


图 6 1981 年至 2013 年泰和县 9 月份地面温度距平

Fig.6 The surface temperature anomaly in September in Taihe from 1981 to 2013

较高,十分有利于褐飞虱的暴发。

除后期大量迁入、温度条件适宜会导致褐飞虱暴发外,迁入时期较早,水稻生育期早期田间虫量较多,种群增长期间温度正常,也有可能导致褐飞虱的暴发[18]。在本研究中,2013 年则是该类型的暴发模式。2013 年,泰和县既没有温暖的秋季温度,也没有大量的后期迁入,但是该年在晚稻秧苗至分蘖初期时百丛虫量就已达到近 600 头,致使该年成为典型的早发虫量积累暴发年。

3.2　早稻种群数量受前期迁入量限制,早稻收割后滞留虫源对晚稻影响微小

褐飞虱的终年繁殖区主要位于海南岛南部以及中南半岛,在我国大部分地区褐飞虱均不能越冬,仅在北回归线以南有少量越冬,因此早期迁入我国的虫源大都来自于境外[1,2,27]。每年 4 月末至 5 月初,褐飞虱发生第一次"北迁",由终年繁殖区而来的褐飞虱主要降落在两广南部珠江流域及闽南等地;5 月中、下旬至 6 月初,第二次"北迁"的褐飞虱主降区北移至南岭地区;6 月中、下旬至 7 月初,第三次"北迁"的褐飞虱主要降落在南岭以北[1]。江西省地处南岭以北,早稻收割期在 7 月上、中旬左右,而早稻褐飞虱的迁入峰期则处于第二次及第三次"北迁"的时间段内,褐飞虱降落后仅能在田间繁殖 1—2 代,因此早稻田褐飞虱的种群数量主要受迁入虫量的限制。与之类似,广东省褐飞虱 4 月下旬至 5 月上旬进入迁入盛期,迁入盛期的种群在早稻田可繁殖 1—2 代,早稻上褐飞虱发生程度取决于迁入量的大小和迁入峰出现的早晚[18]。

晚稻田早期虫源的形成,主要是由秧苗带卵或低龄若虫,相邻未收割早稻田扩散迁入以及外地迁入 3 种因素造成[28]。程遐年[18]等认为,在双季稻种植区,由于早稻的收割和晚稻的栽插严重干扰了稻田生物群落的演替进程,早稻收割后的滞留虫源数量极低,加之晚稻生育期不适宜(秧苗),因此滞留虫源很难单独对晚稻形成危害。齐国君[29]等调查了华南双季稻区早稻收割和晚稻移栽对褐飞虱种群动态的影响,其结果表明早稻收割后,大量低龄若虫被淘汰,高龄若虫转移到附近秧田和杂草上;晚稻移栽后,杂草及秧田的褐飞虱再次转移到新移栽的晚稻田上,但成为有效虫源的虫量较少。本研究中,在早稻收割以后至晚稻移栽前,有一定的间隔时期,在这段间隔期内,随着稻田的翻耕,晚稻移栽,滞留的褐飞虱种群遭到极大的破坏,仅有少量滞留虫源转移至晚稻田上,因此,晚稻田初始虫源密度处于极低的水平。

需要指出的是,本研究中仅分析了泰和县晚稻田褐飞虱暴发年份的成因。但要阐明该地区晚稻田褐飞虱的发生规律,还需要针对其他年份不同发生程度的成因进行详细分析,从而全面明确褐飞虱在该地区的暴发规律及形成机制。

参考文献(References):

[1]　程遐年, 陈若篪, 习学, 杨联民, 朱子龙, 吴进才, 钱仁贵, 杨金生. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报, 1979, 22(1): 1-21.
[2]　翟保平. 稻飞虱: 国际视野下的中国问题. 应用昆虫学报, 2011, 48(5): 1184-1193.
[3]　翟保平, 程家安. 2006 年水稻两迁害虫研讨会纪要. 昆虫知识, 2006, 43(4): 585-588.
[4]　Hu G, Xie M C, Lin Z X, Xin D Y, Huang C Y, Chen W, Zhang X X, Zhai B P. Are outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål) associated with global warming? Environmental Entomology, 2010, 39(6): 1705-1714.
[5]　Hu G, Lu F, Zhai B P, Lu M H, Liu W C, Zhu F, Wu X W, Chen G H, Zhang X X. Outbreaks of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in the Yangtze River Delta: immigration or local reproduction? PLoS One, 2014, 9(2): e88973, doi: 10.1371/journal.pone.0088973.
[6]　徐善忠, 吴来泉, 钟珺, 钟齐刚, 邓素华, 刘祖星. 泰和县 2000 年-2009 年稻飞虱发生概况及防治. 农业科技通讯, 2010, (7): 174-176.
[7]　芦芳, 翟保平, 胡高. 昆虫迁飞研究中的轨迹分析方法. 应用昆虫学报, 2013, 50(3): 853-862.
[8]　陈若篪, 程遐年. 褐飞虱起飞行为与自身生物学节律、环境因素同步关系的初步研究. 南京农学院学报, 1980, 3(2): 42-49.
[9]　邓望喜. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. 植物保护学报, 1981, 8(2): 73-82.
[10]　Furuno A, Chino M, Otuka A, Watanabe T, Matsumura M, Suzuki Y. Development of a numerical simulation model for long-range migration of rice planthoppers. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 133(1/4): 197-209.
[11]　陈若篪, 吴家荣, 祝树德, 张建新. 褐飞虱的飞翔能力. 昆虫学报, 1984, 27(2): 121-127.
[12]　翟保平, 张孝羲, 程遐年. 昆虫迁飞行为的参数化 I. 行为分析. 生态学报, 1997, 17(1): 7-17.
[13]　程遐年, 张孝羲, 程极益, Riley J R, Reynolds D R. 褐飞虱在中国东部秋季回迁的雷达观察. 南京农业大学学报, 1994, 17(3): 24-32.
[14]　翟保平. 昆虫行为研究中日长的计算. 昆虫知识, 2004, 41(2): 178-184.

[15] 谈涵秋，毛瑞曾，程极益，姚禾芬. 褐飞虱远距离迁飞中的降落和垂直气流、降雨的关系. 南京农学院学报，1984，7(2)：18-25.
[16] 张孝羲. 昆虫迁飞的类型及生理、生态机制. 昆虫知识，1980，17(5)：236-239.
[17] 邹运鼎，陈基诚，王士槐. 稻株营养物质与褐飞虱翅型分化的关系. 昆虫学报，1982，25(2)：220-222.
[18] 程遐年，吴进才，马飞. 褐飞虱研究与防治. 北京：中国农业出版社，2003：102-110.
[19] Zhang G, Wu Y, Li X J, Hu G, Lu M H, Zhong L, Duan D K, Zhai B P. Annual fluctuations of early immigrant populations of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in Jiangxi Province, China. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(4): 1636-1645.
[20] 封传红，翟保平，张孝羲，汤金仪. 我国北方稻区 1991 年稻飞虱大发生虫源形成. 生态学报，2002，22(8)：1302-1314.
[21] 胡高，吴秋琳，武向文，姜玉英，曾娟，翟保平. 东北二代粘虫大发生机制：1980 年个例分析. 应用昆虫学报，2014，51(4)：943-957.
[22] Chen X, Zeng J, Zhai B P. A series of abnormal climatic conditions caused the most severe outbreak of first-generation adults of the meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) in China. International Journal of Biometeorology, 2016, 60(6): 789-800.
[23] 浦茂华，陈洁明. 褐稻虱发生程度数理预报的初步研究. 植物保护，1979，5(5)：1-9.
[24] 李汝铎. 温度对褐飞虱种群生长的影响. 植物保护学报，1984，11(2)：101-107.
[25] 程家安，章连观，范泉根，祝增荣. 气温对褐飞虱种群动态影响的模拟研究. 中国水稻科学，1992，6(1)：21-26.
[26] 祝树德，陆自强，杭杉保，徐海. 温度对褐飞虱种群调控作用研究. 华东昆虫学报，1994，3(1)：53-59.
[27] 陈若篪，赵健，徐秀媛. 褐飞虱越冬温度指标的研究. 昆虫学报，1982，25(4)：390-396.
[28] 胡国文，马巨法，唐健，潘群威，王国荣. 晚稻前期稻飞虱虫源性质的研究. 病虫测报，1992，12(1)：3-7.
[29] 齐国君，王政，吕利华，蓝日青. 华南双季稻区早稻收割和晚稻移栽对褐飞虱种群动态的影响. 环境昆虫学报，2012，34(1)：1-6.